Firmato digitalmente da:
Filippo Ricci
Firmato il 2025/11/27 14:21
Seriale Certificato: 23347021
Valido dal 27/11/2023 al 27/11/2026
InfoCert Qualified Electronic Signature CA 3

PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO
“LOTTO 9”

COMUNE DI LATIANO (BR)

RELAZIONE

DI INVARIANZA IDRAULICA

E IDROLOGICA

Rev.	Data	Descrizione della revisione	Redazione	Approvazione
01	Agosto 2025	Prima emissione	Ing. Marco Ruscica	Silvano Carone
02	OTTOBRE 2025	Seconda emissione	Ing. Marco Ruscica	Silvano Carone

Firmato digitalmente da:
RUSCICA MARCO
Firmato il 2025/10/31 19:27
Seriale Certificato: 3310120
Valido dal 16/02/2024 al 16/02/2027
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

SETINSTUDIO
projects & management

Sommario

1 Premessa 4

2 Inquadramento Geologico 6

2.1 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE 8

2.2 Caratteri di Permeabilità 8

3 ANALISI IDROLOGICA 11

3.1 Analisi morfometrica 11

3.2 Caratteristiche del bacino idrografico di alimentazione dell'impluvio interno all'area di progetto ..13

3.3 Trasformazioni afflussi deflussi 17

3.3.1 Il tempo di corrivazione ed il lag valutato con il metodi proposto dal Soil Conservation Service (SCS) 18

3.3.2 Valutazione dei Tempi di Corrivazione per lo studio idraulico dell'impluvio (approvato in fase autorizzativa precedente) 19

3.3.3 Il deflusso e le portate di piena al colmo valutate con il metodo proposto dal SCS 19

3.3.4 Il Curve Number 20

3.3.4.1 Il Curve Number nel bacino di alimentazione dell'impluvio interno all'area di intervento 21

3.3.5 Il Coefficiente di deflusso utilizzato per la valutazione delle piene al colmo nell'impluvio (precedente fase autorizzativa) 22

3.4 Valutazione dei parametri necessari per il calcolo dei deflussi con le metodologie proposte dal SCS – Metodo VAPI Puglia 23

3.4.1 Curve di possibilità pluviometrica 24

3.4.2 Calcolo delle portate di piena nell'impluvio interno all'area di progetto 27

3.5 ANALISI IDRAULICA 28

3.5.1 Determinazione del profilo della corrente 28

3.5.1.1 Il codice di calcolo HEC RAS 29

3.5.2 Geometria del corso d'acqua 32

3.5.3 Portate di Piena 35

3.5.3.1 Coefficiente di scabrezza 35

3.5.4 Analisi dei risultati della modellazione 35

4 Opere atte a garantire l'invarianza idraulica 38

4.1 Le caratteristiche geometriche di rilievo per la determinazione delle opere da realizzare per pervenire all'invarianza idraulica 38

4.2 Opere da realizzare per pervenire all'invarianza idraulica 39

4.3 Opere progettate 43

4.3.1 Trincee drenanti 43

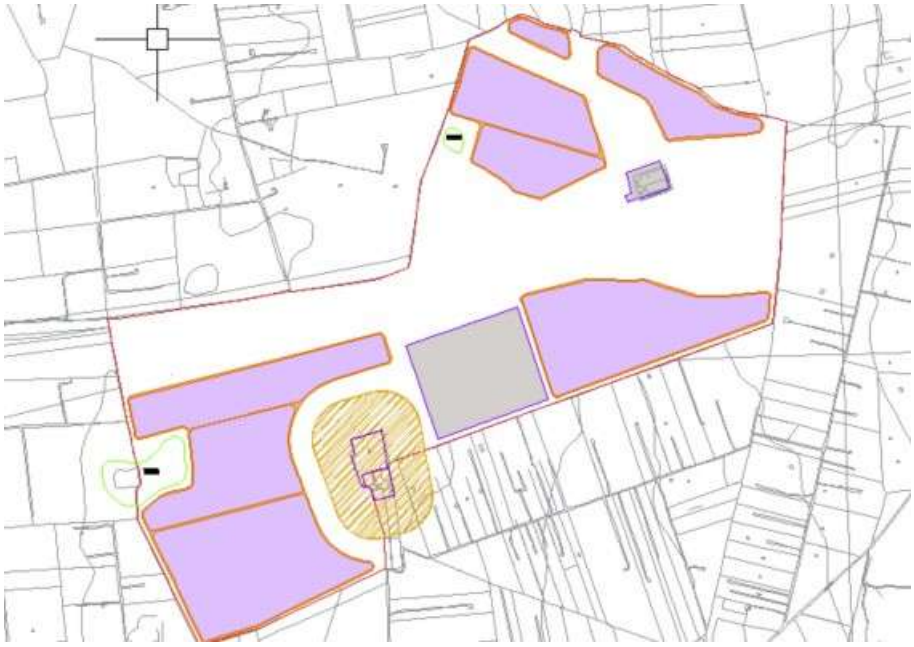
4.4 Vasca di laminazione 44

5 Conclusioni 45

1 Premessa

Il progetto di "Realizzazione di un Impianto Agrivoltaico della potenza nominale di 48128,738 kWp – Lotto 9" proposto ed autorizzato in agro del Comune di Latiano (BR), a circa 3,5 Km in direzione nord nord est dal centro abitato di Latiano, al confine comunale nord est con il Comune di San Vito dei Normanni (BR), viene con le attività progettuali esposte nella presente adeguato alle prescrizioni e definito negli aspetti progettuali di livello esecutivo relativamente alla conformità idraulica dello stesso.

L'area asservita al progetto presenta un'estensione complessiva di Ha 123.96.90 ed è costituita da un unico corpo, così come evidenziato nelle Fig.1 e Fig.2 riportate nella relazione idrologica del progetto esitato e di seguito esposte. L'area di pertinenza al progetto nel suo complesso è facilmente raggiungibile grazie alla presenza della SP 46 che collega il centro abitato di Latiano (BR) a quello di San Vito dei Normanni (BR), e la SS 16 che collega il centro abitato di Mesagne (BR) al centro abitato di San Vito dei Normanni (BR). Il campo fotovoltaico è facilmente accessibile grazie anche alla presenza di una buona viabilità comunale.



Localizzazione delle opere progettuali su cartografia CTR

Localizzazione delle opere progettuali su immagine satellitare 2021

L'area è identificata al catasto terreni del comune di Latiano (BR) al foglio 10 p.lle 1 5 6 18 19 20 21 22 23 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 37 38 e 254; Fg. 15 p.lle 1 e 169. La superficie di interesse, sita geograficamente nella penisola salentina, è costituita da un unico corpo irregolare di complessivi Ha 123.96.90, identificato toponomasticamente sull'IGM e CTR come Masseria S. Elmi. Nel complesso è delimitata ad ovest da superficie agricola afferente a Masseria Paretone in adiacenza con SP 46, a sud con superfici olivetate afferenti a Masseria Rocconuzzo, ad est con Masseria Paradiso in adiacenza con la SS 16 e a nord con Masseria Paretone Vecchia e Masseria Paretone Nuova.

Con la presente si espone sinteticamente lo studio idraulico ed idrologico effettuato in una precedente fase progettuale mirante alla verifica della vulnerabilità al rischio allagamenti dell'impluvio presente all'interno del sito di pertinenza anche al fine di verificarne metodologia e risultati

Scopo principale della presente è invece la progettazione delle opere atte a pervenire in fase realizzativa all'invarianza idraulica mediante il calcolo del volume necessario da invasare temporaneamente al fine di laminare i picchi di deflusso superficiale evitando che gli stessi in fase post realizzativa siano superiori a quelli della fase ante operam. In seguito al calcolo di tale volume si è proceduto alla definizione e progettazione delle opere atte ad invasare tale volume.

.

2 Inquadramento Geologico

L'assetto geologico e strutturale ad ampia scala è rappresentato da potenti successioni carbonatiche di origine marina costituite da strati e banchi di calcari e dolomie del Cretaceo. Tali successioni, che rappresentano i depositi più antichi dell'area, comprendono (secondo la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (foglio 203 "Brindisi") le Dolomie di Galatina e l'unità dei Calcari di Melissano. Per le analogie nei caratteri di litofacies e in accordo con la bibliografia geologica più recente (sensu Ricchetti 1988) quest'ultima formazione verrà indicata nel presente studio con il termine Calcari di Altamura.

Ai depositi cretacei si addossano lungo le scarpate, o si sovrappongono, in trasgressione, sedimenti miocenici terrigeni, tra loro parzialmente eteropici, costituiti dalla cosiddetta "Pietra leccese" e dalle Calcareniti di Andrano. Notevole diffusione hanno anche sedimenti pliocenici e pleistocenici, sia in facies costiera che continentale, rappresentati principalmente dalle Sabbie di Uggiano e dalle Calcareniti di Gravina (sensu Ricchetti 1988) (o Calcareniti del Salento (sensu CGI 1968)), anch'essi trasgressivi sui depositi più antichi. I depositi continentali olocenici sono in genere rappresentati da lembi poco estesi e potenti (sabbie, depositi eluviali e di "terra rossa"), crescenti in spessore e ampiezza procedendo verso la fascia costiera.

Il quadro geologico attuale è il risultato degli eventi tettonici che si sono succeduti a partire dal Cretaceo e che a più riprese hanno interessato l'intera Penisola Salentina. Il basamento carbonatico della penisola salentina, che come già detto in precedenza, è costituito dai Calcari di Altamura, rappresenta il settore della piattaforma apula che ha subito la maggiore attività tettonica. La penisola salentina ha subito una tettonica distensiva dando origine ad un sistema di faglie all'interno del basamento, e generando un sistema strutturale di dorsali e depressioni tettoniche tipo horst e graben di varia grandezza ed estensione. Tali strutture hanno un andamento prevalentemente orientato in direzione Nord Ovest – Sud Est, e morfologicamente corrispondono, rispettivamente, alle attuali "serre salentine" e alle depressioni che le separano. Nel Miocene, i movimenti tettonici hanno riportato in condizioni di sommersione le terre emerse, favorendo la sedimentazione di estesi corpi calcarenitici. Le fasi tardo mioceniche e plioceniche hanno riattivato le faglie cretacee interessando anche i terreni del Miocene. Nel corso di questi due ultimi periodi e del Pleistocene inferiore, ripetuti fenomeni di subsidenza e innalzamento hanno portato più volte ampie zone del Salento al di sotto e al di sopra del livello marino, determinando, rispettivamente, la deposizione di materiali terrigeni e l'erosione delle coperture più recenti. Nel Pleistocene medio una nuova fase tettonica ha conferito alla regione una configurazione simile all'attuale, mentre i fenomeni di ingressione e regressione marina conseguenti alle fasi glaciali (in particolare del Riss e del Wurm)

hanno determinato il deposito dei sedimenti costieri in aree marginali. Dal punto di vista litostratigrafico l'area del Comune di Latiano e dei comuni limitrofi risulta costituita, dal

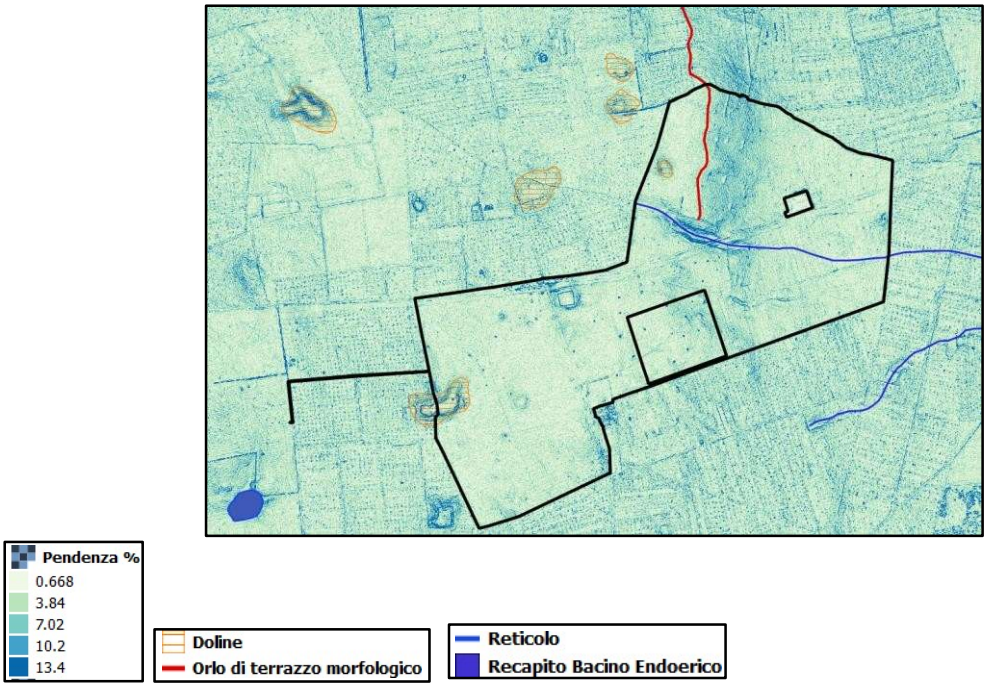
basso verso l'alto, dai seguenti litotipi:

Depositi marini

- Calcari di Altamura (Turoniano sup. –Maastrichtiano)
- Calcarenite di Gravina (Pliocen sup.- Pleistocene inf.)
- Argille Subappennine (Pleistocene inf.)
- Depositi Marini Terrazzati (pleistocene med.-sup.) Depositi continentali
- Coltre eluvio-colluviale (Olocene)

Dall'analisi delle quote mediante profili altimetrici e carta delle pendenze estrapolati da un modello digitale del terreno (DTM) ad altissima risoluzione "Lidar", ottenuto dall'archivio Ispra – Portale Cartografico Nazionale (PCN) ed elaborato con software GIS, è stato possibile constatare che nell'area di intervento:

- l'andamento topografico del terreno mostra una variazione di quote che tendono a diminuire da ovest verso est e da nord verso sud con un massimo di circa 105 m s.l.m. e un minimo di circa 73m s.l.m.;
- le pendenze hanno valori inferiori al 15% e quindi anche al 20% (Fig.4B).



Elementi della Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia su carta delle pendenze, attinenti le zone di progetto

2.1 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE

La ricostruzione del modello litostratigrafico del sottosuolo nell'area di progetto di impianto è stata effettuata mediante l'utilizzo dei dati rilevati da indagini eseguite in loco nonché dal censimento di dati stratigrafici esistenti nelle aree vicine. Dal punto di vista stratigrafico i terreni sono caratterizzati dalla presenza di "depositi calcarei".

Di seguito il modello litostratigrafico dell'area di interesse:

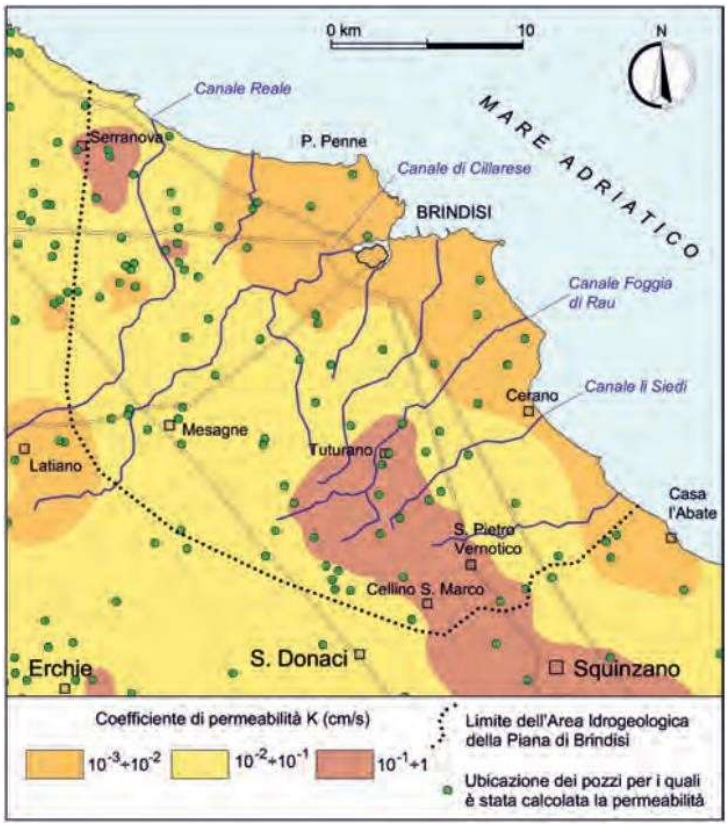
Strato	**Profondità dal P.C.**		**Descrizione**
Livello A	0.0 m- 1.0 m		Copertura superficiale vegetale
Livello B	1.0 m - 4.5 m		Calcari fratturati
Livello C	>4.5 m		Bed rock carbonatico

2.2 Caratteri di Permeabilità

In base ai caratteri di permeabilità le rocce sono suddivise in:

- rocce permeabili per porosità interstiziale e fessurazione;
- rocce impermeabili o poco permeabili

La permeabilità per porosità di interstizi e fessurazione è tipica delle rocce granulari, in quanto esse contengono dei vuoti intercomunicanti che possono riempirsi di acqua e permettere il deflusso in presenza di un gradiente idraulico. Queste rocce corrispondono ai depositi calcarei e calcarenitici. In funzione del grado di cementificazione e del grado di carsificazione e fessurazione presente, queste formazioni hanno un grado di permeabilità da medio basso a medio alto. Le rocce impermeabili o poco permeabili sono quelle che per i loro caratteri granulometrici non consentono, o consentono in parti esigue, il passaggio e l'accumulo di acqua. Le rocce del Cretaceo, costituenti l'acquifero profondo, sono permeabili per fratturazione e carsismo. Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero profondo, calcolato a partire da risultati di prove di portata, nell'area di intervento ha valori che indicano una permeabilità medio alta, dell'ordine 10 2 ÷10 1 cm/s.



Distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero carbonatico profondo della Piana di Brindisi

I valori più bassi del coefficiente di permeabilità si osservano presso costa; a Sud Est, lungo l'allineamento Tuturano Cellino S. Marco, e a Nord, in prossimità di Serranova, sono presenti valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di 1 cm/s. La piezometria della falda profonda indica che il deflusso idrico sotterraneo, proveniente dalla contigua Murgia, ha prevalentemente direzione NW SE. Un importante asse di drenaggio si rileva nell'area fra Tutorano e Cellino S. Marco, coerentemente con gli elevati valori del coefficiente di permeabilità ivi registrati. Le altezze piezometriche subiscono variazioni nel tempo in ragione del regime idrologico della falda, delle variazioni del livello mare e degli attingimenti in corso. In generale i minimi carichi piezometrici sono osservati nel periodo estivo, quando la falda si trova nel suo periodo di magra ed è soggetta ad intensa estrazione, ad uso prevalentemente irriguo. Le oscillazioni periodiche e aperiodiche del livello mare influenzano, in prossimità della costa, le altezze piezometriche della falda profonda.

3 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è stata effettuata per la determinazione delle portate al colmo di piena per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, corrispondenti all'alta (AP), media (MP), e bassa (BP) pericolosità idraulica, ai sensi del PAI. Le portate al colmo sono state calcolate sulla base del metodo VAPI Puglia, come consigliato dalla "Relazione di Piano" del PAI.

La presente relazione espone i risultati dell'analisi idrologica finalizzata:

- alla verifica della valutazione delle portate di piena nell'impluvio interno l'area di impianto per la valutazione della non interferenza con le porzioni effettivamente oggetto di interventi (tale prima valutazione viene ripresa da quella già redatta in fase autorizzativa).
- al dimensionamento delle opere atte a garantire il perseguimento dell'invarianza idraulica nel sito. A tal fine si è proceduto alla valutazione dei volumi di deflusso superficiali che si generano nelle aree oggetto di realizzazione di opere e che comportano una variazione dei coefficienti di deflusso (campo fotovoltaico ed edifici). Per perseguire verso tale scopo si è proceduto effettuando in sequenza quanto segue:
  1) Si sono valutati i volumi di deflusso nella situazione precedente la realizzazione dell'impianto;
  2) Si sono valutati i volumi di deflusso nella situazione successiva la realizzazione dell'impianto;
  3) Sono state dimensionate le opere atte ad accumulare temporaneamente i volumi in eccesso rispetto alla situazione ex ante;

Nei seguenti sottoparagrafi si espongono le metodologie ed i risultati dello studio.

3.1 Analisi morfometrica

Il primo passo per poter svolgere un'analisi idrologica di dettaglio è rappresentato dalla definizione delle principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici gravanti sull'area oggetto di studio.

La base necessaria per determinare le principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici gravanti sull'area oggetto di studio è costituta dal DTM (modello digitale del terreno, dall'acronimo inglese Data Terrain Model). Dalle terne di dati costituiti dai valori medi

delle coordinate planimetriche e dalla quota in celle quadrate di determinato lato i cui dati sono stati ricavati dai database della regione puglia.

Utilizzando la procedura di calcolo descritta nel seguito, da una serie di modelli distribuiti del territorio (detti in seguito griglie o matrici) sono stati applicati particolari algoritmi che consentono di estrapolare le necessarie informazioni idrauliche del territorio.

Uno di questi algoritmi è denominato slope (pendenza) che concettualmente identifica la massima variazione nel valore di una cella della griglia (nel nostro caso il DEM) rispetto alle celle circostanti.

Uno dei possibili risultati di questo calcolo può essere una matrice di valori che esprime la pendenza in percentuale oppure in gradi.

In pratica l'algoritmo esegue una media quadratica della massima variazione di quota nelle quattro direzioni del piano parallele al grigliato considerando le otto celle che

a	b	c
d	e	f
g	h	i

contornano la cella in questione.

[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g) / (8 * x_cellsize) [dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * _cellsize)

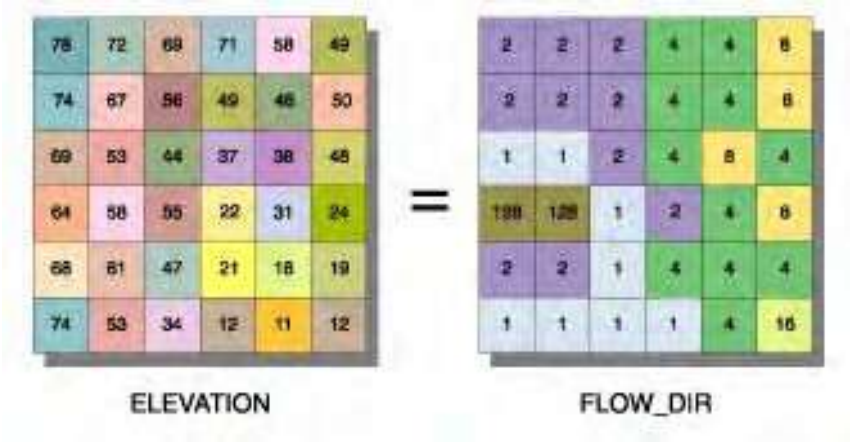
Dalla matrice così ottenuta un opportuno algoritmo, diffuso in ambiente GIS, elabora la cosiddetta flow direction grid (griglia delle direzioni di flusso). Questa griglia contiene in ogni cella il valore codificato della direzione di massima pendenza tra la cella stessa e le celle circostanti.

Al numero che compare in ogni cella della griglia è associato univocamente una direzione cartesiana secondo lo schema seguente:

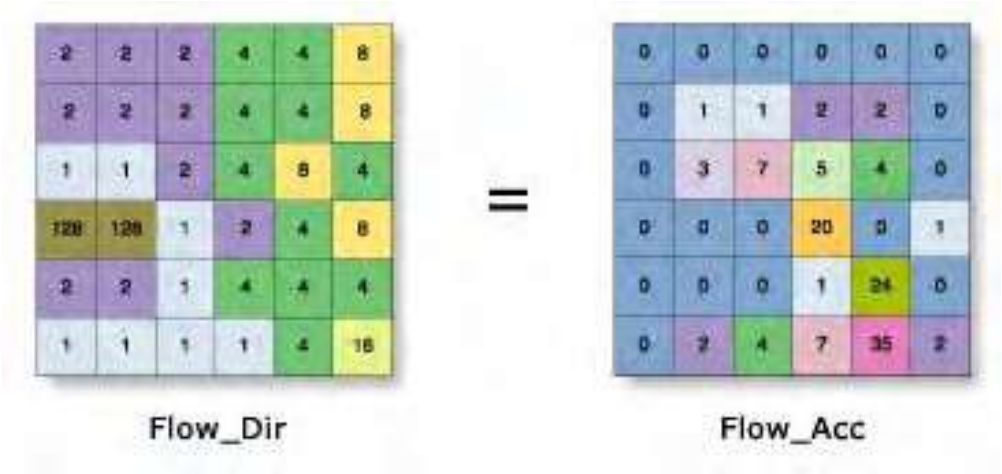
1	Est	2	Sud-Est
4	Sud	8	Sud-Ovest
16	Ovest	32	Nord-Ovest
64	Nord	128	Nord-Est

Di seguito è riportato un esempio di una rappresentazione del passaggio dal DEM ad una griglia

costituita dalle direzioni preferenziali dei flussi.



Definita la griglia delle direzioni di flusso un algoritmo, sempre in ambiente GIS, conta il numero di celle tributarie di ogni singola cella e ne attribuisce il valore alla corrispondente cella in una nuova griglia denominata flow accumulation grid (accumuli di flusso) così rappresentata:



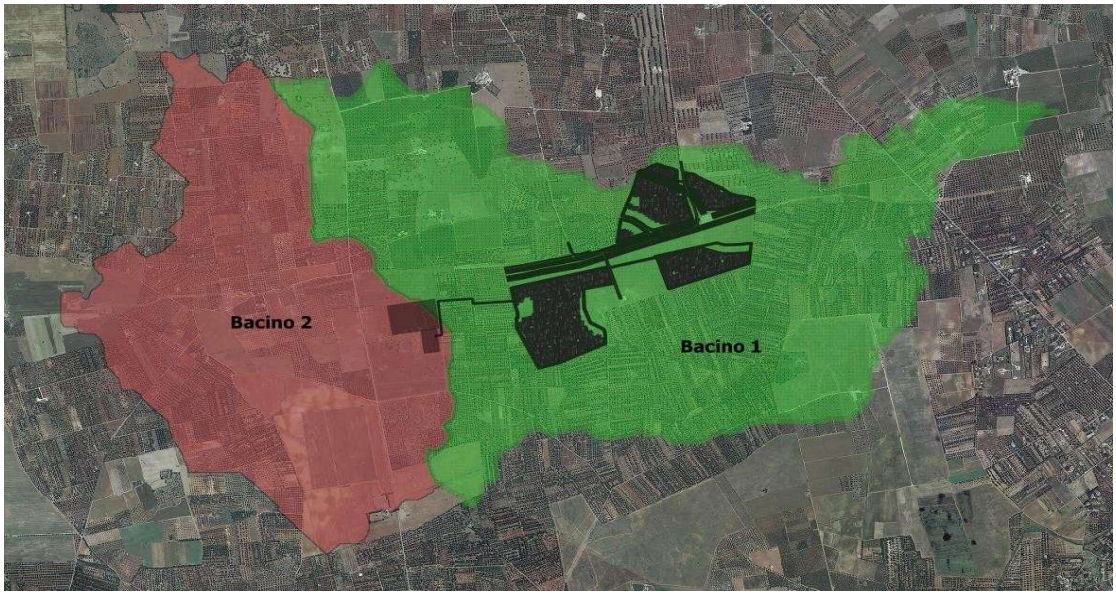
Dalla generazione della griglia di accumulo è possibile successivamente stabilire un numero minimo di celle tributarie e "marcare" in questo modo la linea di compluvio naturale.

Queste tecniche, come si è anticipato, consentono la perimetrazione di un bacino idrografico oltre che la determinazione di tutti i parametri morfometrici di esso caratteristici.

3.2 Caratteristiche del bacino idrografico di alimentazione dell'impluvio interno all'area di progetto

Nella prima fase autorizzativa si sono effettuate le analisi idrologiche atte a verificare la rete idrografica secondaria

che interessa il sito e ad accertarsi che le aree occupate dagli impianti in progetto siano effettivamente esenti dal rischio esondazione per tempi di ritorno adeguati. Poiché l'obiettivo dell'analisi idrologica consisteva in quella fase nel valutare le portate al colmo di piena per i tempi di ritorno di riferimento, sono stati individuati i bacini idrografici comprendenti l'area di intervento. Il bacino 2 riguarda una porzione che converge in una parte di area interna ai limiti del progetto che però non sarà interessata da modifiche alle caratteristiche di permeabilità.



Bacino idrografico (colore verde) comprendente l'area di progetto (colore nero)

Con l'obiettivo di estrarre i dati morfologici e altimetrici del bacino idrografico afferente all'area di interesse, è stato implementato un progetto GIS nel quale sono stati inseriti i dati cartografici presenti nella zona e, in particolare,

- cartografia aerofotogrammetrica ufficiale (CTR/2008), alla scala 1:5000;
- modello digitale del terreno (DTM) ricavato dai dati della CTR regionale e dai dati Lidar;
- cartografia relativa all'uso del suolo, geologia e litologia;
- rilievi in situ.

Il bacino idrografico è la superficie topografica dalla quale le acque di pioggia, defluendo naturalmente, confluiscono nella sezione d'interesse chiamata sezione di chiusura. La linea che delimita un bacino idrografico è una linea sempre ortogonale alle curve di livello e passante per i punti singolari di displuvio. Tale linea è costituita dalla congiungente i punti di massima curvatura delle curve di livello in corrispondenza dei quali le stesse volgono la convessità verso le quote decrescenti.

L'identificazione del bacino è stata eseguita dopo aver individuato la rete idrografica, costituita dalle linee di impluvio (o compluvio) secondo le quali defluiscono naturalmente le acque che si raccolgono nel bacino stesso. La rete

dei canali è costituita da linee di massima pendenza ortogonali alle curve di livello e passanti per i punti di massima curvatura di esse in corrispondenza dei quali le stesse volgono la convessità verso le quote crescenti.

I dati di "elevazione del terreno" sono stati elaborati in ambiente GIS mediante l'applicazione degli algoritmi "FillSinks, Catchment Area, Channel Network, WatershedBasins, VectorizeRasterLayer"; i risultati ottenuti sono stati poi rettificati mediante l'utilizzo della fotointerpretazione da ortofoto e confrontati con i rilievi effettuati in campo.

Le caratteristiche fisiografiche del bacino idrografico sono state ricavate mediante l'applicazione di strumenti analitici in ambiente GIS.

Superficie Bacino: è stata calcolata dal menu richiamabile dalla finestra del database associato agli oggetti vettoriali.

Quote minima, media e massima del bacino: sono state individuate consultando le proprietà relative alla matrice ottenuta ritagliando il DEM utilizzando come maschera di selezione l'estensione del bacino in formato raster.

Lunghezza dell'asta fluviale principale: è stata ottenuta tramite l'applicazione "Lenght" disponibile nelmenù richiamabile dalla finestra del database associato agli oggetti vettoriali.

Pendenza media dell'asta fluviale: è stata valutata come media delle pendenze dei singoli tratti componenti l'asta principale; queste ultime, ricavate tramite le quote corrispondenti ad ogni nodo, sono state valutate come rapporto tra la variazione di quota tra le estremità di ciascun tratto e la lunghezza dello stesso.

Quota della sezione di chiusura: è stata valutata semplicemente tramite interrogazione diretta del DEM in corrispondenza della sezione di chiusura prefissata.

Nella seguente tabella sono indicate le caratteristiche fisiografiche del solo bacino 1, utilizzate per fare l'analisi idrologica e idraulica nell'area di progetto finalizzata alla valutazione della vulnerabilità idaulica nell'intorno dell'impluvio interno all'area di intervento.

CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE	
Superficie Bacino in Kmq (S_b)	8,89
Quota massima bacino in m s.l.m. (q_{max})	117,86
Quota media bacino in m s.l.m. (q_{med})	91
Quota minima bacino in m s.l.m. (q_{med})	59,57
Lunghezza asta principale in Km (L)	4,93
Pendenza dell'asta principale in % (i_a)	1,10
Quota sezione di chiusura in m s.l.m. (q_0)	60,03
Perimetro del bacino idrografico (m)	23.35

"Curve Number" del metodo SCS (SoilConservation Service) (CN) ved succ. Paragrafo	71
Coefficiente di deflusso (C)	0.30

3.3 Trasformazioni afflussi deflussi

Per la stima univoca delle portate di piena o di colmo nelle condizioni di funzionamento delle opere a valle degli interventi ("portate di progetto"), si sono utilizzate tra le metodologie riportate in letteratura tecnica, quelle utilizzate in fase di redazione del P.A.I. dell'Appennino meridionale tenendo conto delle direttive del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto VA.PI. (Valutazione delle Piene in Italia). Dette metodologie, ricavano le portate a partire dall'analisi statistica delle precipitazioni, mediante modelli di trasformazione degli afflussi in deflussi.

Tra le diverse metodologie disponibili per il calcolo della portata in modo indiretto, il modello più utilizzato risulta essere quello cinematico, (nello specifico il modello razionale) il quale permette calcolare e stimare il valore delle portate di piena mediante l'analisi dei seguenti parametri:

- Morfometrici ed idrografici del bacino idrologico sotteso alla sezione di chiusura,
- Tempo di corrivazione;
- Altezza di pioggia critica;
- Coefficiente di deflusso per la determinazione della pioggia netta.

Nei seguenti sottoparagrafi, sono riportati le metodologie necessarie all'individuazione del bacino e delle caratteristiche morfometriche ed idrografiche dello stesso.

Per il calcolo della portata di piena al colmo determinata dalla seguente relazione:

$$Q_T = \frac{P \times A}{3.6 \times t_c}$$

e' necessario procedere alla determinazione del tempo di corrivazione tc, della superficie del bacino A e dei parametri morfologici del bacino necessario a definire il tempo di corrivazione.

Per la trasformazione afflussi-deflussi è pertanto necessaria una analisi morfologica del bacino che vedremo sarà basata su dati planoaltimetrici di dettaglio ricavati dai Modelli Digitali del Terreno resi disponibili dalla Regione Siciliana nei propri sistemi informativi e da più specifici rilievi planoaltimetrici effettuati laddove era necessario integrare tali dati per pervenire alla migliore accuratezza ed affidabilità dello studio. L'analisi dei dati è stata effettuata mediante adozione di specifici software ed in particolare il codice Hec-Hms mediante il quale si è proceduto al calcolo dei parametrici caratteristici dei bacini idrografici sottesi alle sezioni di calcolo ed alla determinazione degli idrogrammi di piena caratteristici di ciascun tempo di ritorno considerato.

Il presente studio è stato redatto in conformità agli indirizzi dettati per il settore specifico dal "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" della Regione Sicilia.

La stima del *tempo di corrivazione* (tempo che impiega la particella liquida idraulicamente più lontana a raggiungere la sezione di chiusura) è un parametro su cui si basa la determinazione delle portate di piena al colmo associate ad eventi meteorici di prefissato tempo di ritorno. Tale elaborazione è di solito effettuata mediante l'utilizzo e la comparazione di numerose formule empiriche, relative a bacini di piccole medie e grandi dimensioni, reperite in letteratura tecnica. Si è scelto per uniformare la trattazione di adottare la formula del Soil Conservation Service. Tale scelta è giustificata dall'applicazione delle formule relative alla medesima metodologia per il successivo calcolo della portata di picco, sia nel caso dell'utilizzo della formula razionale come si vedrà in seguito, sia nel caso della modellazione idrologica effettuata con il software HEC-HMS avendo utilizzato come metodo di perdita iniziale e di trasformazione afflussi-deflussi proprio il SCS Unit Hydrograph.

La stima del tempo di corrivazione (tempo che impiega la particella liquida idraulicamente più lontana a raggiungere la sezione di chiusura) è stata effettuata mediante l'utilizzo e la comparazione di numerose formule empiriche, relative a bacini di piccole medie e grandi dimensioni, reperite in letteratura tecnica. Si è scelto per uniformare la trattazione di adottare la formula del Soil Conservation Service. Tale scelta è giustificata dall'applicazione delle formule relative alla medesima metodologia per il successivo calcolo della portata di picco, sia nel caso dell'utilizzo della formula razionale come si vedrà in seguito, sia nel caso della modellazione idrologica effettuata con il software HEC-HMS avendo utilizzato come metodo di perdita iniziale e di trasformazione afflussi-deflussi proprio il SCS Unit Hydrograph.

3.3.1 Il tempo di corrivazione ed il lag valutato con il metodi proposto dal Soil Conservation Service (SCS)

Oltre al tempo di corrivazione anche il cosiddetto lag (o tempo di ritardo) è necessario sia stimato. Esso sulla base di una vasta letteratura viene posto pari al tempo di corrivazione moltiplicato per un fattore 0,6. La seguente formulazione è stata prescelta per ricavale il valore del tempo di ritardo e conseguentemente del tempo di corrivazione ad esso legato:

$$t_l = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}$$

Dove L è la lunghezza dell'asta idraulica principale, s è la pendenza media dei versanti del bacino determinata mediante analisi morfologica mediante software Hec-Hms.

3.3.2 Valutazione dei Tempi di Corrivazione per lo studio idraulico dell'impluvio (approvato in fase autorizzativa precedente)

Per la determinazione delle portate di piana nell'impluvio effettuate nella precedente fase autorizzativa, il tempo di corrivazione di un bacino idrografico (Tc) che rappresenta il tempo che una goccia d'acqua impiega per raggiungere la sezione di chiusura del bacino a partire dal punto idraulicamente più lontano da essa è stato determinato come segue, mentre per lo studio dell'invarianza verrà descritto il metodo utilizzato nei successivi paragrafi. Il tempo di corrivazione è comunemente espresso attraverso relazioni che contengono i parametri morfometrici del bacino. Data la modesta estensione dei bacini idrografici considerati, il parametro è stato calcolato come media delle espressioni di Kirpich, Ventura, Pezzoli e Pasini.

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Tc) IN ORE	BACINO IDROGRAFICO
Kirpich	0.87
Viparelli	0.91
Pezzoli	2.38
Pasini	2.36
MEDIA	**1.63**

3.3.3 Il deflusso e le portate di piena al colmo valutate con il metodo proposto dal SCS

Per la determinazione delle portate di piena al colmo e degli idrogrammi è necessaria la stima di un indice rappresentativo del valore di precipitazione minima necessario per ciascun bacino all'innesco di fenomeni di deflusso superficiale denominato anche indice di aridità. Esso sulla base del metodo SCS è posto pari a 0.2 · S dove

$$S = 254\left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

Con CN = Curve number che viene determinato secondo quanto descritto al successivo paragrafo.
Dai sopradetti parametri viene ricavata la Precipitazione efficace

$$P = \frac{(1 - I_a)^2}{1 - I_a + S}$$

Secondo la suddetta metodologia la portata di piena al colmo viene calcolata mediante la seguente relazione, già sopra richiamata per la determinazione, in meti cubi al secondo della portata di piena al colmo, adottando misuere in m, m^2 e ore.

$$Q_T = \frac{P \times A}{3.6 \times t_c}$$

Dove I valori di Ia e S sono quelli sopra definiti e tc rappresenta la precipitazione caratterizzata del tempo di ritorno tr per una durata t pari al tempo di corrivazione, A è la superficie del bacino, P la Precipitazione efficace e tc il tempo di corrivazione.

3.3.4 Il Curve Number

Per la definizione del Curve Number (CN) è stato utilizzato il metodo SCS CN del Soil Conservation Service. Il CN è un numero adimensionale, i cui valori sono compresi tra 100 e 0, che rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale. Il CN viene di prassi stimato sulla base di tabelle funzioni della permeabilità e degli usi del suolo ed effettuando delle valutazioni medio ponderate sui bacini idrografici oggetto di indagine.

Per il calcolo del CN nell'ambito del presente studio si è fatto riferimento alla metodologia adottata nello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese – Arco Jonico" redatto dall'AdB Puglia. Con l'impiego di tecniche GIS viene calcolato il valore del CN sulla base dei seguenti strati informativi:

- Carta geo litologica della Puglia 1:250.000, impostata sulla elaborazione e sintesi della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, elemento della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia, redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (delibera n. 48/2009)
- Carta di Uso del Suolo della Carta Tecnica Regionale del SIT Puglia aggiornata al 2011 e a IV livello della Corine Land Cover.

Le quattro classi di permeabilità (A, B, C, D) del metodo SCS CN sono state attribuite alle unità geolitologiche dell'area, così come descritte nella Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia,

redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (delibera n. 48/2009), pubblicata sul portale internet della stessa Autorità (www.adb.puglia.it). Il livello di permeabilità è stato associato a ciascuna unità valutando in maniera qualitativa porosità, fessurazione, fatturazione, carsismo e pendenza.

Di seguito la descrizione delle 4 classi di permeabilità:

1) **A**: permeabilità alta, bassa capacità di deflusso, suoli con elevata capacità di infiltrazione anche se completamente saturi, sabbie e ghiaie profonde ben drenate; notevole conducibilità idrica.
2) **B**: permeabilità medio alta, suoli con moderata capacità di infiltrazione se saturi, suoli con tessitura medio fine e bassa capacità di infiltrazione, conducibilità idrica media.
3) **C**: permeabilità medio bassa, suoli con bassa capacità di infiltrazione se saturi, suoli con tessitura medio fine e bassa capacità di infiltrazione, conducibilità idrica bassa.
4) **D**: permeabilità bassa, capacità di deflusso elevata, suoli con capacità di infiltrazione ridottissima in condizioni di saturazione, suoli ricchi di argilla rigonfianti, conducibilità idrica estremamente bassa.

3.3.4.1 Il Curve Number nel bacino di alimentazione dell'impluvio interno all'area di intervento

Conn riferimento al bacino imbrifero dell'impluvio i dati per ricavare il Curve Number sono i seguenti:

UNITA' GEOLITOLOGICA	% bacino A	Classe permeabilità
Unità prevalentemente calcarea o dolomitica	94,62	A
Unità a prevalente componente arenitica	5,38	B

Per la definizione del CN sono state anche associate alle diverse tipologie di uso del suolo le classi di permeabilità

CATEGORIA DI USO DEL SUOLO	% bacino A	Classi permeabilità	
		A	B
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	13,02	68	79
Cespuglieti e arbusteti	0,54	62	71
Colture temporanee associate a colture permanenti	1,10	62	71
Frutteti e frutti minori	1,06	62	71
Insediamenti produttivi agricoli	0,13	68	79
Reti stradali e spazi accessori	0,14	98	98
Seminativi semplici in aree non irrigue	18,09	72	81
Uliveti	64,46	62	71
Vigneti	1,46	62	71

3.3.5 Il Coefficiente di deflusso utilizzato per la valutazione delle piene al colmo nell'impluvio (precedente fase autorizzativa)

Per tutti i bacini analizzati è stato definito il coefficiente di deflusso (Cd) in funzione della permeabilità dei litotipi affioranti, delle caratteristiche morfologiche dei terreni e dell'uso del suolo.

Nella tabella successiva la correlazione tra i codici dell'uso del suolo e i valori del coefficiente di deflusso (Cd):

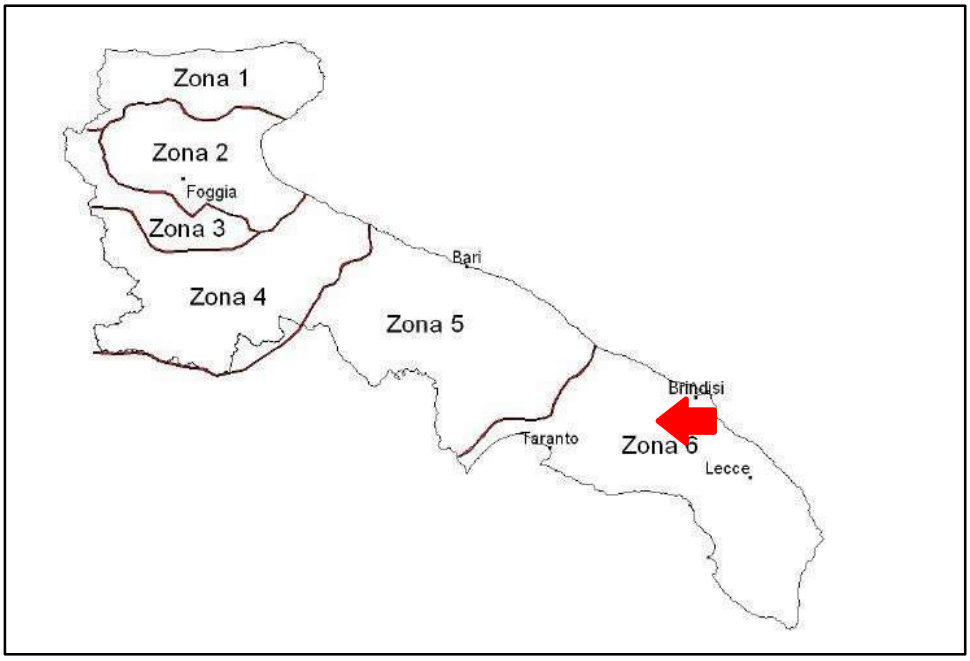
Codice Uso del Suolo	Descrizione	Cd( )
111	Tessuto urbano continuo	0.90
112	Tessuto urbano discontinuo	0.80
121	Aree industriali e commerciali	0.80
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	0.80
124	Aeroporti	0.80
131	Aree ad attività estrattiva	0.60

133	Cantieri	0.40
141	Aree verdi urbane	0.30
142	Aree ricreative	0.50
211	Seminativi in aree non irrigue	0.35
212	Seminativi in aree irrigue	0.40
213	Risaie	0.35
221	Vigneti	0.50
222	Frutteti e frutti minori	0.45
223	Oliveti	0.45
231	Prati stabili	0.30
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	0.35
242	Sistemi colturali e particellari complessi	0.35
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali	0.35
311	Boschi di latifoglie	0.25
312	Boschi di conifere	0.25
313	Boschi misti	0.25
321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	0.40
322	Brughiere e cespugliete	0.45
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0.45
331	Spiagge, dune, sabbie	0.10
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	0.65
333	Aree con vegetazione rada	0.50
335	Ghiacciai e nevi perenni	0.80
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	1.00
512	Bacini d'acqua	0.80

3.4 Valutazione dei parametri necessari per il calcolo dei deflussi con le metodologie proposte dal SCS – Metodo VAPI Puglia

La valutazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica per la valutazione della massima precipitazione al variare del tempo di ritorno è stata svolta, rifacendosi alla metodologia proposta dal Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la "Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centromeridionale". Per la stima delle portate al colmo di piena si è fatto riferimento al rapporto VAPI relativo alla Regione Puglia, come suggerito dalle Norme di Attuazione del "Piano di Bacino Stralcio per la Difesa

dal Rischio Idrogeologico (PAI)" redatto dall' Autorità Interregionale di Bacino della Puglia. Secondo tale rapporto il territorio di competenza dell'ADB della Puglia è stato suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee; la porzione di territorio oggetto di intervento ricade nella zona 6 (ved. Figura che segue).



Aree pluviometriche omogenee nella Regione Puglia

3.4.1 Curve di possibilità pluviometrica

La valutazione della massima precipitazione al variare del tempo di ritorno è stata svolta rifacendosi alla metodologia proposta dal Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la "Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale".

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV con regionalizzazione di tipo gerarchico.

Per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello si è fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate.

L'utilizzo della TCEV ha consentito di ricostruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, mediante il quale è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni in cui risulta costante anche il coefficiente di variazione (secondo livello di regionalizzazione).

In definitiva il territorio di competenza della regione Puglia è stato suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, (Figura 8) per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

Zona 1: $X(t,z) = 28.66\ t^{(0.000503\ z + 0.720\ /\ 3.178)}$

Zona 2: $X(t,z) = 22.23\ t^{0.247}$

Zona 3: $X(t,z) = 25.325\ t^{(0.696 + 0.000531\ z)\ /\ 3.178}$

Zona 4: $X(t,z) = 24.70\ t^{0.256}$

Zona 5: $X(t,z) = 28.2\ t^{(0.628 + 0.0002\ z)\ /\ 3.178}$

Zona 6 $X(t,z) = 33.7\ t^{(0.488 + 0.0022\ z)\ /\ 3.178}$

dove:

t = durata della precipitazione; z = quota media del sito.

Zone omogenee al 3° livello di regionalizzazione

Noto il valore di Xt è possibile ricavare il valore della pioggia massima per prefissato tempo di ritorno a partire dalla conoscenza del fattore probabilistico di crescita Kt.

Per la valutazione del fattore di crescita si è utilizzata la seguente relazione: KT = a + b lnT

Dove a e b sono due parametri che variano in funzione della zona considerata e per la Puglia centro - meridionale (zona 5 e 6) assumono i valori riportati nella (Tabella 2).

Zona omogenea		
Puglia centro - meridionale	0.1599	0.5166

- Valori dei parametri a e b

Il metodo suddetto prevede il calcolo delle altezze critiche di precipitazione utilizzando la seguente espressione (valida all'interno della "zona 6"):

$$X(t,z) = 33.7\ t\ [(0.488+0.0022\ z)/3.178] = a'\ t^n$$

dove:

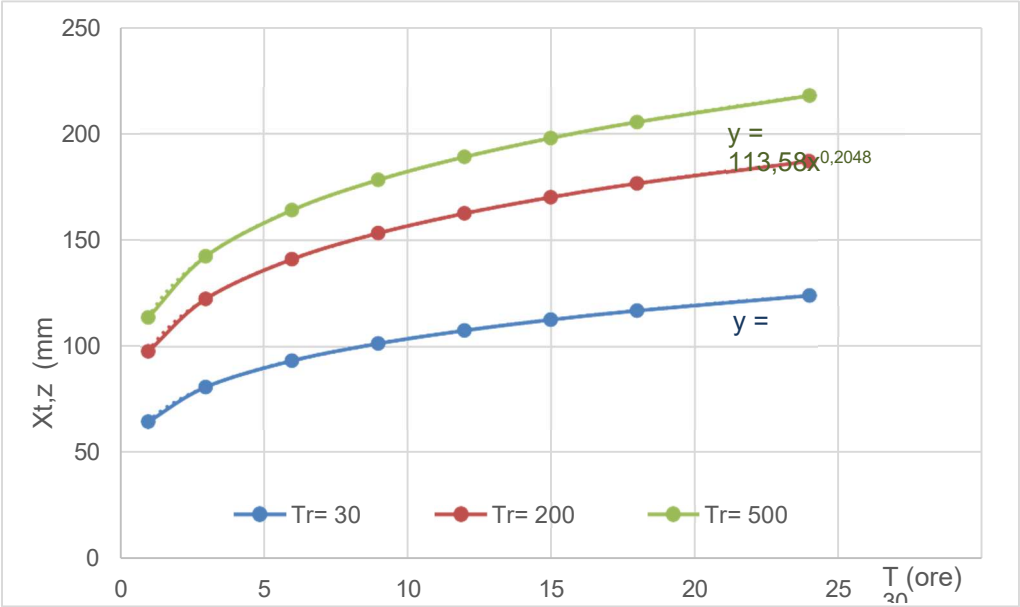
"z" (m.s.l.m.): quota caratteristica del bacino; "t" (h): tempo di corrivazione del bacino.

A seconda del tempo di ritorno considerato in seguito l'altezza di pioggia deve essere moltiplicata per un coefficiente di crescita dato dalla seguente espressione:

$$K_T = 0.1599+0.5166\ \ln(T)$$

Nella seguente tabella il calcolo dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica e le altezze di precipitazione critica "h" per i tempi di ritorno di riferimento di 30, 200 e 500 anni per il bacino idrografico di riferimento.

Curve di possibilità pluviometrica ed altezze di precipitazione (VAPI, zona 6) per il bacino idrografico considerato					
K30 ( )	**K200 ( )**	**K500 ( )**	**h30 (mm)**	**h200 (mm)**	**h500 (mm)**
1,92	2,90	3,37	71,92	108,63	126,24



- Curve di possibilità pluviometrica rappresentativi dei bacini idrografici per Tr 30, 200 e 500

3.4.2 Calcolo delle portate di piena nell'impluvio interno all'area di progetto

Le portate di piena sono state calcolate utilizzando il Metodo Razionale o formula di Turazza:

$$Q = (K\ S\ c\ i)/3.6 = (K\ S\ c\ a\ t^{n\ 1})/3.6 = (K\ S\ c\ K_T\ a'\ t^{n\ 1})/3.6$$

dove:

"K" ( ) = fattore di riduzione areale

"S" (km^2) = superficie del Bacino

"i" (mm/h) = intensità di precipitazione

"c" ( ) = coefficiente di deflusso

Per il calcolo del fattore di riduzione areale, come consigliato dalla Relazione di Piano del PAI, è stata utilizzata la formula dello *US Weather Bureau* che esprime tale fattore in funzione della superficie "S" e del tempo di corrivazione del bacino "t":

$$K = 1 - (1 - e^{-0.0021\ S})\ e^{-0.53\ t^{0.25}}$$

Nelle tabelle seguenti i valori del fattore di riduzione areale e i corrispondenti valori delle portate al colmo di piena per i tre tempi di ritorno di riferimento.

Per il calcolo della portata di piena nell'impluvio si sono utilizzati i parametri che seguono:

Fattore di correzione areale (VAPI, zona 6)		
S (Km^2)	t (h)	K ( )
8,89	1,63	0.548

Pervenendo ai seguenti risultati

Portate al colmo di piena (VAPI, zona 6)		
Q30 (m^3/s)	Q200 (m^3/s)	Q500 (m^3/s)
29,19	44,10	51,25

Tali valori di portata erano stati oggetto di modellazione idraulica redatta nella precedente fase autorizzativa che viene mostrata di seguito.

3.5 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica ha lo scopo di determinare i profili di corrente relativi ai tempi di ritorno prefissati, in questo caso di 30 e 200 anni. Tali profili sono necessari per la fase di individuazione delle aree a rischio idraulico. La verifica idraulica del canale è stata effettuata in corrispondenza delle sezioni tracciate sulla scorta dei dati cartografici a disposizione, in particolare dei dati altimetrici digitali e di un rilievo topografico effettuato in loco mediante strumentazione GPS e con l'ausilio del drone.

3.5.1 Determinazione del profilo della corrente

Il profilo della corrente è stato determinato ipotizzando condizioni di moto permanente e le portate sono state considerate costanti nel tempo.

Per il calcolo è stato utilizzato il codice HEC RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), software prodotto dallo US ARMY Engineering Corps, e reso disponibile attraverso internet. Nel paragrafo successivo si illustrano brevemente i contenuti del modello, rimandando ad ogni approfondimento, ai documenti presenti sul sito ufficiale (www.hec.usace.army.mil).

3.5.1.1 Il codice di calcolo HEC RAS

HEC-RAS è un programma realizzato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per reticoli idrografici (indifferentemente naturali ed artificiali); il software può lavorare in regime di moto permanente o vario.

Nel caso di moto permanente il software è in grado di modellare profili sia di correnti lente sia veloci; è possibile inoltre valutare profili misti, con passaggio attraverso lo stato critico.

Il profilo idraulico è calcolato normalmente (standard stepmethod) attraverso la soluzione iterativa dell'equazione dell'energia, tra due sezioni consecutive. Le perdite relative al termine cinetico dell'equazione sono calcolate aggiungendo alle perdite continue per attrito, "J", un coefficiente di contrazione/espansione, che viene moltiplicato per la differenza delle altezze cinetiche medie tra due sezioni successive.

L'equazione che esprime la perdita di energia è la seguente:

dove:

$$h_e = LJ' + C\left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right)$$

L = lunghezza del tratto di alveo compreso tra le due sezioni successive, "pesata" in funzione della portata defluente all'interno della sezione trasversale su zone con differente coefficiente di attrito (basato sull'equazione di Manning);

J' = pendenza di attrito "rappresentativa" (media) delle due sezioni successive;

C = coefficiente di contrazione o di espansione

Il software è programmato per il calcolo di profili nell'ipotesi monodimensionale; fornisce quindi, per ciascuna sezione trasversale, un'unica altezza del pelo libero e un'unica altezza della linea dell'energia. L'altezza della linea dell'energia, è ottenuta dal calcolo del valore "pesato" dalla portata di ciascuna delle sottosezioni in cui si può suddividere la sezione trasversale.

Per calcolare il valore dell'energia per l'intera sezione, bisogna ricavare la parte relativa all'altezza cinetica media, passando attraverso la valutazione del coefficiente di velocità (a sua volta "pesato"):

$$\alpha \frac{\overline{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

In generale si ottiene per Q = Q1 + Q2 + ……+ QN:

Come menzionato in precedenza le perdite continue per attrito sono valutate come il prodotto di:

$$\alpha = \frac{\left[Q_1V_1^2 + Q_2V_2^2 + \ldots\ldots + Q_NV_N^2\right]}{Q\overline{V}^2}$$

$J'_f \times L$

dove J 'f è la pendenza media della linee dell'energia tra due sezioni consecutive distanti tra loro L (pesate in funzione delle "portate trasversali").

La pendenza della linea dell'energia è calcolata, per ciascuna sezione, tramite l'equazione di Manning, nel modo seguente:

$$J_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

dove K rappresenta il termine di "trascinamento" e quindi influenza le perdite continue; il modello contiene espressioni alternative che possono essere scelte dall'utente.

In particolare, l'espressione :

$$J_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$$

è quella di default nel programma.

Le perdite per contrazione ed espansione, rappresentative in un certo senso delle perdite localizzate, sono calcolate in HEC-RAS tramite la seguente equazione:

$$h_{ce} = C\left[\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}\right]$$

dove:

C = coefficiente di contrazione o espansione.

Il programma assume che vi sia una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica (velocity head) a valle è maggiore di quella immediatamente a monte; al contrario si assume una espansione quando l'altezza cinetica a valle è minore di quella di monte.

In definitiva l'equazione dell'energia, al fine della valutazione dell'incognita ovvero del tirante idrico nella singola sezione, viene applicata in maniera iterativa, secondo il seguente schema, assegnate che siano le condizioni al contorno:

1. viene assunta un'altezza del pelo libero nella sezione a monte di quella ritenuta nota (o a valle a seconda se siamo in corrente lenta o veloce);

2. su questo valore ipotetico, si valutano i valori di K e dell'altezza cinetica;
3. viene calcolato il termine Jf e quindi è possibile valutare he;
4. con i valori ricavati, si ricava l'altezza del pelo libero nella sezione di monte;
5. si confronta il valore appena ricavato, con quello assunto al punto 1 e si reitera il calcolo, sino ad una tolleranza di 0.003 m (valore predefinito, modificabile dall'utente).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di un'altezza iniziale del tirante varia nell'ambito della procedura man mano che si sviluppano passaggi successivi. Nel primo passaggio, relativo ai 5 punti su menzionati, il tirante si basa sulla proiezione di quello della sezione precedente nella sezione in studio. Nel secondo passaggio, invece, è utilizzato il tirante del primo passaggio, incrementata del 70% dell'errore risultante al primo passaggio (altezza calcolata – altezza assunta). Il terzo passaggio e i successivi, sono invece basati su un metodo di proiezione "secante", tendente a limitare la discrepanza evidenziata.

In tutte le situazioni in cui non si ha un profilo di corrente gradualmente variato, ma che prevedono risalti idraulici, passaggio attraverso lo stato critico (per bruschi cambi di pendenza, restringimenti, attraversamenti, ponti) e quindi si generano profili di corrente rapidamente variati, il programma utilizza in luogo dell'equazione dell'energia, l'equazione del momento, o dell'equilibrio dinamico.

L'equazione deriva dalla seconda legge di Newton (F = m*a, ovvero Forza=massa*accelerazione), applicata ad una massa d'acqua compresa tra due sezioni; l'espressione della differenza dei momenti nell'unità temporale tra le sezioni 1 e 2, si esprime con la seguente equazione:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

dove:

P = spinta sulle sezioni 1 e 2

Wx = forza peso nella direzione del moto

Ff = forza dovuta alle perdite per l'attrito esterno tra 2 e 1

Q = portata

ρ = densità dell'acqua

ΔVx = cambio di velocità tra 2 e 1 nella direzione del moto.

Risolvendo le varie componenti dell'equazione base si arriva alla formulazione usata dal modello:

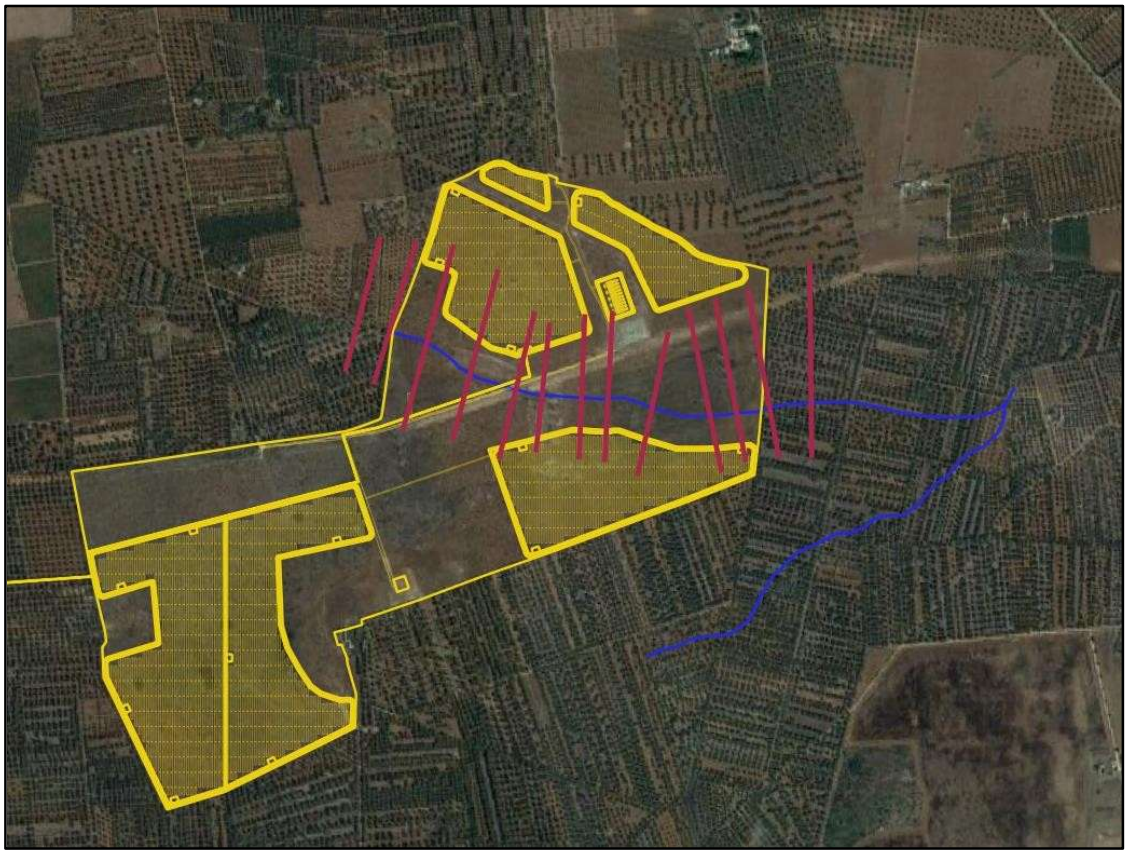
$$\frac{Q_2\beta_2}{gA_2} + A_2\overline{Y_2} + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)LS_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)L\overline{S}_f = \frac{Q_1\beta_1}{gA_1} + A_1\overline{Y_1}$$

Nella geometria del sistema è possibile inserire aree di accumulo e rilascio, di esondazione al di fuori del canale principale, e di deposito temporaneo o definitivo (ovvero zone in cui la componente cinetica si annulla).

I risultati ottenuti tramite il calcolo del software possono essere visualizzati graficamente e consistono in, ad esempio, andamento del profilo longitudinale con l'indicazione del fondo del corso d'acqua, altezza critica, altezza di moto uniforme, quota del pelo libero, altezza totale e tutte le altre grandezze che servono a descrivere pienamente il moto. Queste stesse grandezze possono essere ricavate in forma tabellare sezione per sezione.

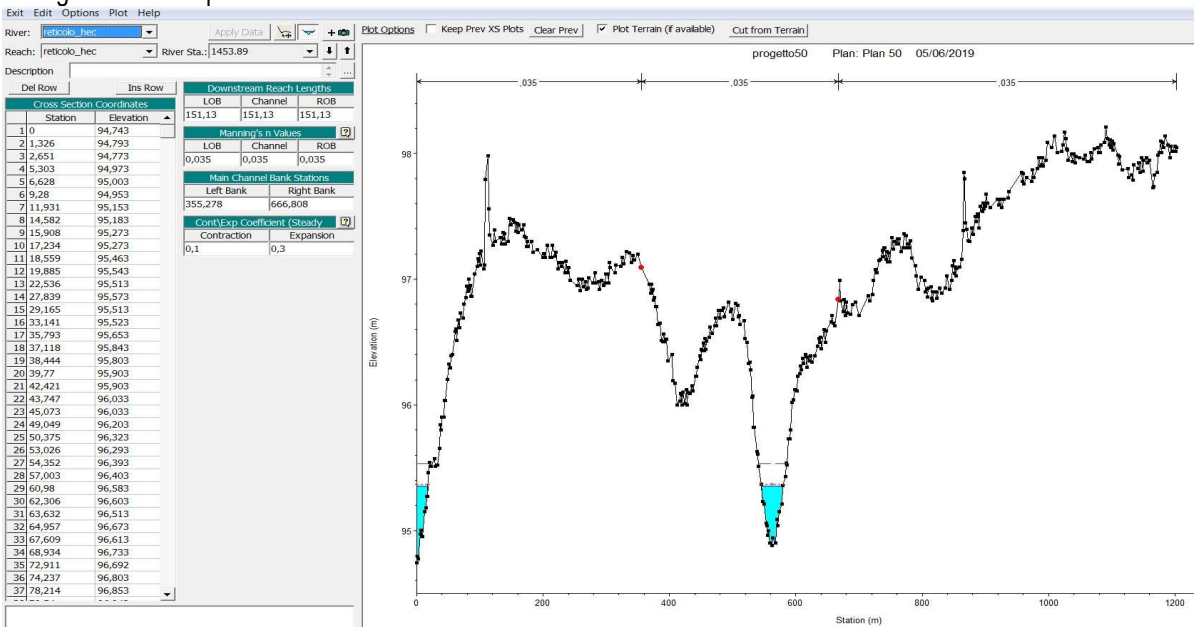
3.5.2 Geometria del corso d'acqua

Per determinare la geometria del tratto di corso d'acqua di interesse, sono state estrapolate delle sezioni trasversali mediante l'utilizzo di dati Lidar e validati con rilievi effettuati sul campo. Tramite sw GIS sono state estrapolate le caratteristiche morfologiche del "river" di interesse e utilizzate nell'elaborazione idraulica. Di seguito le sezioni misurate perpendicolari al tratto di corso d'acqua nell'area di interesse.



Sezioni misurate nel tratto di canale nell'area di intervento

Di seguito un esempio di sezione utilizzata dal modello



Esempio di sezione utilizzata

3.5.3 Portate di Piena

Come valori di riferimento per le portate di piena relative agli eventi con tempi di ritorno di 30 e 200 anni determinati mediante il metodo VAPI della Puglia

3.5.3.1 Coefficiente di scabrezza

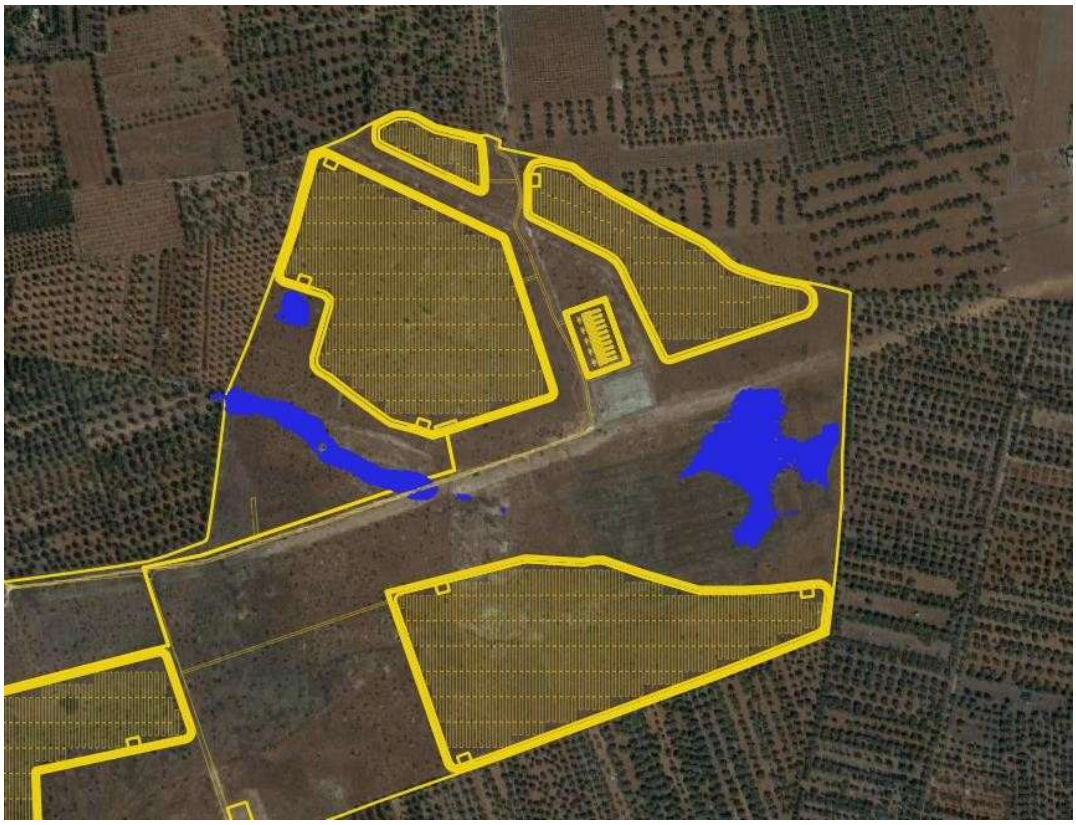
La scabrezza è uno degli elementi chiave che oppongono resistenza al moto, in questo caso dell'acqua, regolando tiranti idrici e velocità di scorrimento. Spesso si è impossibilitati ad effettuare misurazioni in campo e, per questo motivo, si ricorre a valori tratti dalla letteratura tecnica di settore. Per stimare la resistenza al flusso vengono utilizzati i valori dell'indice di Manning, in quanto è stato verificato che sono strettamente correlabili con tiranti e velocità. Alle sezioni trasversali del tratto di corso d'acqua di interesse è stato assegnato un coefficiente di scabrezza pari a 0.030 s/m1/3 in quanto caratterizzati da alvei irregolari con presenza di cespugli bassi e alberi.

3.5.4 Analisi dei risultati della modellazione

Definita la geometria dei canali per i tratti di interesse si è proceduto alla modellazione idraulica in condizioni di moto permanente. Le simulazioni sono state effettuate per condizioni al contorno di stato normale a monte e a valle; le simulazioni sono state ottenute mediante "mixed flow". Vale la pena

sottolineare che la pericolosità idraulica è connessa a due fattori idrodinamici rappresentativi dei fenomeni di piena ovvero i tiranti idrici e le velocità.

Dalla modellazione adottata le sezioni in grado di contenere completamente le piene sono più rappresentative di quelle non in grado di farlo e soprattutto sono in prossimità dell'area di interesse; queste garantiscono che i deflussi restino concentrati nella sezione e non permettono la divagazione di volumi d'acqua all'esterno della sezione stessa. Si riportano di seguito i risultati della modellazione per il tratto di corso d'acqua considerato mediante la graficizzazione della perimetrazione delle aree a pericolosità inondazione per i tre tempi di ritorno 30, 200 e 500 anni sovrapposte al progetto in essere.



Perimetrazione aree a pericolosità allagamento Tr=30 anni

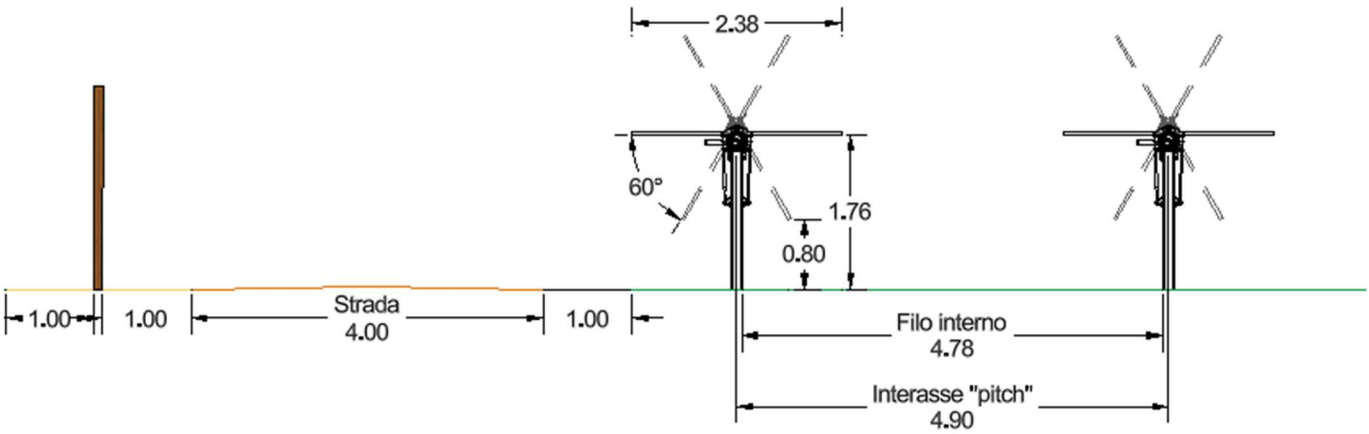
Perimetrazione aree a pericolosità allagamento Tr=200 anni

4 Opere atte a garantire l'invarianza idraulica

4.1 Le caratteristiche geometriche di rilievo per la determinazione delle opere da realizzare per pervenire all'invarianza idraulica

La Tavola 1 allegata alla presente mostra l'impronta delle installazioni fotovoltaiche nel contesto delle particelle autorizzate.

La seguente figura mostra la struttura fotovoltaica la quale è composta da moduli orientabili lungo un unico asse.



La proiezione orizzontale dell'area resa impermeabile varia a seconda dell'inclinazione del modulo dipendente dall'algoritmo di funzionamento e dalla radiazione solare. Per ciascun allineamento di moduli essa varia da 2.4 a 1.20 metri, con una fascia intermedia non soggetta ad alterazione per precipitazioni meteoriche supposte perfettamente verticali (in assenza di vento) variabile tra 2.51 a 3.66 metri. Pertanto, l'area impermeabilizzata è variabile dal 49% al 24% dell'intera superficie contornata dal perimetro esterno del campo interessato.

Le superfici complessive interne al contorno dei diversi campi di cui si compone l'impianto sono:

- 116320 mq
- 68621 mq
- 67250 mq
- 108228 mq
- 34391 mq

- 54264 mq
- 7279 mq
- 35897 mq

La superficie ricavata geometricamente dalla sovrapposizione effettiva delle singole stringhe fotovoltaiche è nei diversi campi pari al massimo valore (pannelli orizzontali) a metri quadrati:

56112
32878
52152
16025
25983
3429

tot 186579

Nella configurazione che ha la minore proiezione di superficie essa è pari a metri quadrati:

27483
16103
25543
7848
2726
1679

tot91385

4.2 Opere da realizzare per pervenire all'invarianza idraulica

L'invarianza idraulica è stata raggiunta mediante la creazione di volumi temporanei accumulo durante i picchi degli eventi meteorici in grado da generare il fenomeno di laminazione dei picchi di deflusso superficiale immesso nella rete idrografica a valle del campo fotovoltaico. A tal fine si è proceduto per tempo di ritorno pari a 200 anni alla determinazione, con riferimento al tempo di corrivazione del campo, il differenziale tra il volume dell'idrogramma corrispondente alla situazione ex ante (senza l'effetto impermeabilizzante dei pannelli fotovoltaici) e quella post installazione.

Il metodo proposto dal SCS è stato applicato alle aree effettivamente occupate da nuove opere di progetto in grado di modificare il coefficiente di deflusso (che nel metodo SCS trova la sua specularità nel Curve Number). La figura di seguito esposta mostra il campo fotovoltaico in progetto e le cinque distinte

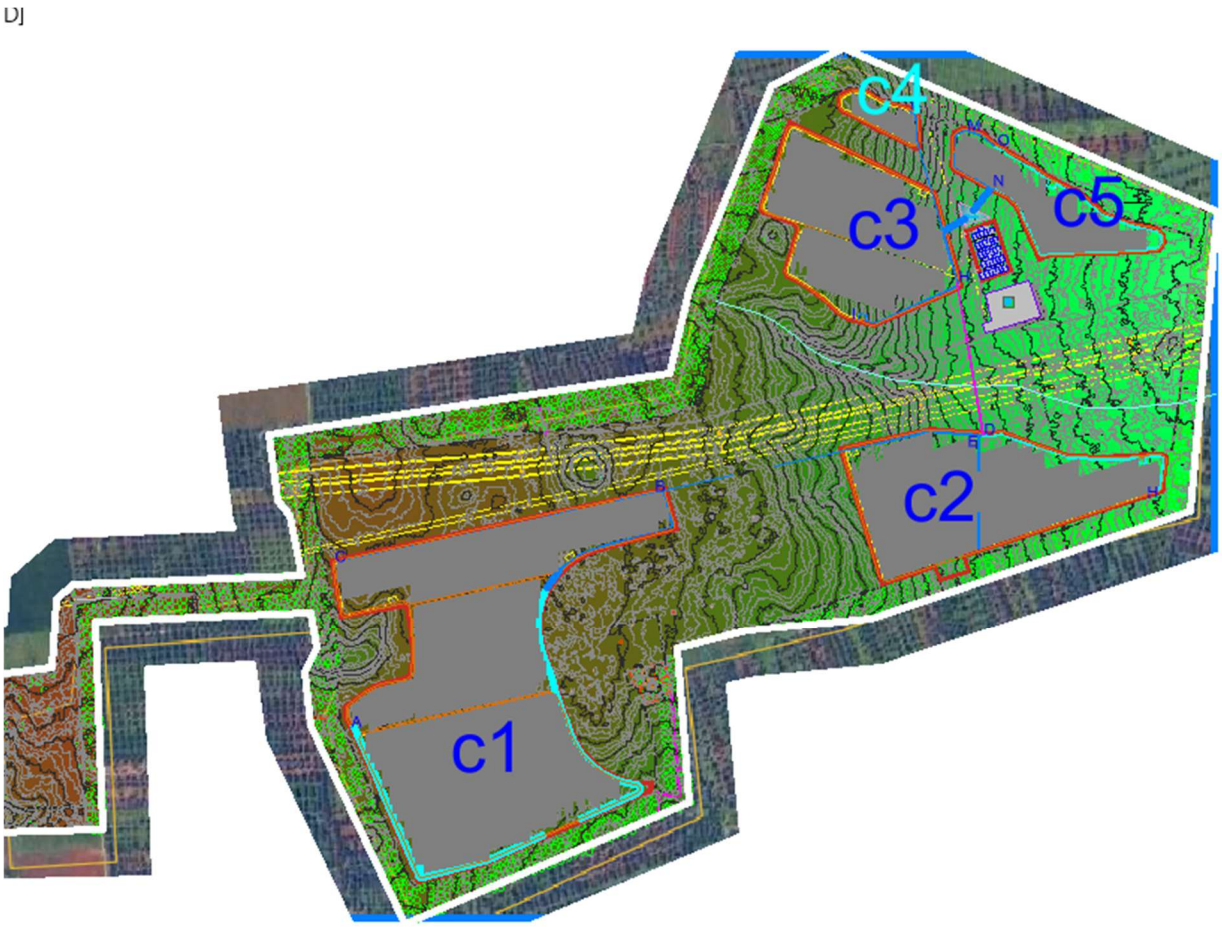
aree di impatto (C1.. C5). I fabbricati convergendo in progetto nella stessa opera di laminazione sono stati accorpati al settore C3.

I tabulati che seguono mostrano i calcoli del differenziale di deflusso corrispondente ai tempi di ritorno di riferimento nell'ipotesi ante operam e post operam.

Il Curve Number è stato ricavato a partire dalla condizione Ante Operam che nei campi considerati fa riferimento a classi di permeabilità del gruppo C essendo i terreni di limitato spessore i calcari sottostanti non permeabili per porosità e poco fratturati. In corrispondenza di terreni ricoperti da poca vegetazione (situazione attuale) il corrispondente valore del Curve Number è pari a 86.

Il Curve Number post operam invece fa riferimento alla media ponderata tra il valore suddetto pari a 86 per le aree non modificate ed il valore di 98 associato alle aree coperte da pannelli o fabbricati. La proiezione dell'area è stata associata ad una inclinazione dei pannelli media tra la massima e la minima apertura degli stessi, quindi ad una occupazione del 36,5% (il 63,5 invece rimane inalterato). Tale ipotesi è validi inquanto in condizioni di precipitazioni quindi di cielo non soleggiato (o notturne) i pannelli non saranno comunque in posizione orizzontale. Pertanto il valore del Curve Number diventa:

CN'= (86*0.635+98*0.365)/1=90.38



Le tabelle che seguono mostrano i passaggi dei calcoli e contengono i parametri geometrici delle singole aree oggetto di intervento:

PARAMETRI MORFOLOGICI	c1	c2	c3	c4	c5
Area bacino alla foce (km^2)	**0.27**	**0.1164**	**0.0974**	**0.0093**	**0.0414**
Lungh. Asta (km)	**0.72**	**0.6100**	**0.4400**	**0.1600**	**0.4850**
Pendenza media bacino	**0.008**	**0.021**	**0.032**	**0.050**	**0.019**
Pendenza media bacino (%)	0.83	2.13	3.18	5.00	1.86
Tempi di corrivazione Tc (ore) Mokus	0.94	0.52	0.33	0.12	0.46
tl (Tempo di ritardo o lag) in ore Mokus (ore)	0.57	0.31	0.20	0.07	0.28
Quota media del bacino	**91.00**				

$$t_l = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}$$

Parametri idrologici	LATIANO
a	33.70
n	0.22
KT	0.51

CN ex ante	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
CN ex post	90.38	90.38	90.38	90.38	90.38

con s= pendenza media bacino

da cui si ricavano

(Ia=S*0.2) ia 8.27

$$S = 254\left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

S 41.35 situazione ex post

S 27.04 situazione ex ante

KT KT = a + b lnT

a 0.1599 =

b 0.5166

ex post

PORTATE AL COLMO PER TEMPI DI RITORNO DI 50, 100 E 300 ANNI

T (anni) **200.00**

	c1	c2	c3	c4	c5
Kt	2.897	2.89701	2.897	2.897	2.897
h[t,T] (mm)	96.42	84.64	76.58	61.20	82.57
intens. mm/h	102.12	163.68	235.02	528.87	179.00
P	60.01	49.54	42.55	29.72	47.73
Q (m^3/s)	**4.80**	**3.10**	**3.53**	**0.67**	**1.19**
Volume ev.	16324.31	5768.89	4146.31	277.11	1975.84

$$h_{t,T} = K_T a t^n$$

ex ante

PORTATE AL COLMO PER TEMPI DI RITORNO DI 50, 100 E 300 ANNI

T (anni) **200.00**

	c1	c2	c3	c4	c5
Kt	2.897	2.89701	2.897	2.897	2.897

h[t,T] (mm)	96.42	84.64	76.58	61.20	82.57
intens. mm/h	102.12	163.68	235.02	528.87	179.00
P	70.74	59.64	52.14	38.12	57.70
Q (m^3/s)	**5.66**	**3.73**	**4.33**	**0.85**	**1.44**

DIFFERENZA TOTALE DI VOLUME5522 mc

4.3 Opere progettate

Il volume di laminazione verrà garantito dalla simultanea realizzazione delle opere descritte nei seguenti paragrafi e riportate nelle tavole 1 e 2 allegate alla presente.

4.3.1 Trincee drenanti

In tavola 1 si riporta la disposizione planimetrica, le caratteristiche realizzative ed i profili altimetrici delle trincee drenanti progettate.

La planimetria a curve di livello con equidistanza 25 cm derivante dal rilievo fotogrammetrico eseguito con l'ausilio del drone e del rilievo di punti di controllo a terra ed il dtm dettagliato del sito determinato dalla triangolazione della nuvola di punti consentono di determinare i profili delle trincee drenanti e di determinare le linee di deflusso. La posizione del volume di laminazione e di accumulo rimane la medesima di quella del progetto già autorizzato. Non risultava planimetricamente possibile nessuna altra alternativa in grado di ubicare tale volume a quote inferiori all'intero campo PV; pertanto, una parte della funzione di laminazione viene assolta dalle trincee drenanti e ad un sovradimensionamento della capacità di captazione delle aree a quota più alta della vasca in modo da comunque captare il volume necessario a garantire l'invarianza. Per il calcolo dei volumi di laminazione della trincea drenante si tiene conto delle specifiche di progetto definite che pongono un indice dei vuoti della trincea pari a 0.3.

La lunghezza complessiva delle trincee drenanti è pari a 4759 metri lineari per un volume complessivo pari a 8929 metri cubi cui corrisponde un volume di accumulo netto pari a 8929 x 0.3 = 2679 metri cubi. Le trincee saranno dotate di un condotto microforato di drenaggio, che sarà disposto fino a quote superiori alla quota della vasca di accumulo corrispondente al livello destinato alla laminazione. Le aree al di sotto di tale quota o non collegabili alla vasca ne saranno sprovviste. Un tatto di trincea sarà invece

dotato di condotto non microforato atto a consentire il superamento (sifonato) di un minimo tipografico.

4.4 Vasca di laminazione

La vasca di laminazione ed accumulo avrà la duplice funzione di accumulare le acque raccolte dalle trincee drenanti ad essa collegate e di consentire il mantenimento di un volume di accumulo per esigenze logistiche di gestione dell'impianto. In particolare, i manuali operativi dovranno prevedere di mantenere non occupato almeno un volume pari alla differenza tra il volume necessario a garantire. Al termine di ciascun evento meteorico pari a 5522-2679=2823 metri cubi.

Lo svuotamento delle trincee drenanti sarà garantito dalla naturale permeabilità per fratturazione delle trincee drenanti. Le acque che raggiungeranno durante gli eventi meteorici il volume di accumulo tenderanno quando le trincee drenanti si svuoteranno progressivamente a riempire le stesse garantendo lo svuotamento del laghetto. Solo la parte di laghetto sottostante il fondo tubo delle trincee drenanti rimarrà a disposizione dell'utilizzo per la logistica di impianto.

4.5 Bilancio idrico

L'attività agricola integrata al campo fotovoltaico consiste nella coltivazione di specie mellifere che non richiedono apporti irrigui. Pertanto, il consumo idrico sarà determinato dai volumi necessari alla logistica ed al lavaggio dei pannelli. Inoltre, una riserva idrica andrà mantenuta disponibile per fare fronte ad ipotetico rischio di incendio. La tavola 2 degli elaborati grafici mostra le caratteristiche geometriche della vasca evidenziando come il volume di 3150 metri cubi rappresenti la quantità di invaso complessiva, mentre 2850 metri cubi rappresentano il volume di invaso collegato con il sistema disperdente in falda mediante le trincee drenanti poste a quote superiori al fondo tubo. Rimangono 300 metri cubi utilizzabili per scopi logistici rappresentati quasi esclusivamente dal lavaggio dei pannelli. Il lavaggio, quando effettuato con ausilio di prodotti detergenti dovrà essere effettuato mediante idonei sistemi di raccolta delle acque di scolo mobili da collocare al di sotto dei pannelli soggetti a lavaggio per il successivo convogliamento mediante autobotte ad idoneo impianto di trattamento. Il volume complessivo medio annuo che affluisce alla vasca viene determinato sulla base della pluviometria media annua del sito (626 mm) ricavata dal SIT della regione Puglia per un coefficiente di deflusso pari a 0.24 che determina un apporto medio annuo su una superficie convertente paria 152217 mq cui vanno detratte le parti a quota inferiore alla vasca per cui la superficie si riduce a 121 000 metri quadrati cui corrisponderebbero 18180 metri cubi di apporto. Quindi appare evidente che il volume di 300 metri cubi nell'ambito di una annata a pluviometria media potrebbe essere riempito svariate volte, ma riuscirebbe a riempirsi anche in annate con precipitazioni tali da generare deflussi pari al ad una piccolo frazione della media.

La superficie dei pannelli è pari a circa 186 000 metri quadrati. Pertanto, 300 metri cubi di volume rappresentano un valore di circa 1,6 litri di acqua disponibile per metro quadrato di pannello, sufficienti per almeno una operazione di lavaggio.

5 Conclusioni

Le elaborazioni contenute nella presente confermano la compatibilità idraulica dell'intervento in quanto nessuna opera verrà realizzata in aree soggette ad esondazione o ristagno.

Inoltre si è pervenuti all'obiettivo dell'invarianza idraulica dell'intervento mediante un sistema combinato di laminazione delle portate garantito da trincee drenanti e una vasca di laminazione.

Firmato digitalmente da
Silvano Carone
C = IT
Data e ora della firma: 20/11/2025 17:09:05